

# BUNDESPRÄSIDENT DEUTSCHLAND



REC'D 14 OCT 2003  
WIPO PCT

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 30 259.6

Anmeldetag: 05. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: Continental Teves AG & Co oHG,  
Frankfurt am Main/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Stabilisierung eines Fahrzeugs und  
Verkürzung des Bremswegs

IPC: B 62 D, B 60 T

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 24. September 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Brosig

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

## **Verfahren zur Stabilisierung eines Fahrzeugs und Verkürzung des Bremswegs**

Bei Bremsungen auf inhomogenen Fahrbahnen (d.h. Fahrbahnen mit unterschiedlichen Reibwerten auf der linken bzw. rechten Fahrzeugseite) treten aufgrund der unterschiedlichen Reibwerte (rechts – links) asymmetrische Bremskräfte auf. Aus diesen asymmetrischen Bremskräften resultiert ein Giermoment um die Fahrzeughochachse, welches das Fahrzeug in eine Gierbewegung in Richtung der Straßenseite mit dem höheren Reibwert versetzt (siehe Bild 1).

Fahrzeuge ohne das elektronische Bremssystem ABS werden in solchen Fahrsituationen instabil, da beim Blockieren der Räder die Seitenführungskraft der Reifen verloren geht und somit das, durch die asymmetrischen Bremskräfte entstandene Giermoment zur Hochreibwertseite das Fahrzeug in schnelle Drehbewegungen um die Fahrzeughochachse versetzt (Schleudern).

Bei Fahrzeugen mit dem elektronischen Bremssystem ABS wird bei Bremsungen in diesen kritischen Situationen das Schleudern verhindert, weil durch das Vermeiden blockierender Räder die Seitenführungskraft der Räder erhalten bleibt. Das Giermoment um die Fahrzeughochachse, resultierend aus den asymmetrischen Bremskräften, wird dadurch aber nicht kompensiert, sondern der Fahrer muß dies durch Gegenlenken bewerkstelligen. Um den Fahrer in solch kritischen Fahrsituationen (plötzliches Auftreten des Giermoments) nicht zu überfordern, wird die ABS-Regelstrategie in solchen Fahrsituationen angepaßt: Während dem Anbremsen wird an der Vorderachse der Druckaufbau derart gesteuert, daß die Druckschere (Druckdifferenz) an der Vorderachse zwischen dem Rad auf der Hoch- und Niedrigreibwertseite nur langsam aufgebaut wird. Dies führt dazu, daß sich das Giermoment um die Fahrzeughochachse nur langsam aufbaut und dem Fahrer ausreichend Zeit zum Gegenlenken bleibt (Giermomentbegrenzung an der Vorderachse). Gleichzeitig wird die Hinterachse derart unterbremst, daß an beiden Rädern nur der Bremsdruck des Rades auf der Niedrigreibwertseite zugelassen wird (SelectLow). Dadurch steht an der Hinterachse immer ausreichend Seitenführungspotential zur Verfügung und das Fahrzeug ist durch Lenkeingriffe (Gegenlenken) für den Fahrer leicht zu stabilisieren. Durch diese beiden ABS-Maßnahmen (Giermomentbegrenzung und SelectLow, prinzipielle Druckverläufe siehe Bild 2a bzw. 2b) wird aber sehr viel Bremsleistung verschenkt, da das Reibwertpotential der Hochreibwertseite nicht ideal ausgenutzt wird. Dies resultiert in einem deutlich verlängerten Bremsweg,

ist aber bei Fahrzeugen, dem heutigen Stand der Technik entsprechend, dennoch als Vorteil anzusehen, gegenüber einem Fahrzeug ohne ABS, welches instabil wird.

Die Erfindung verbessert die Beherrschbarkeit des Fahrzeugs bei Bremsungen auf inhomogenen Fahrbahnen. Dies gelingt mit Hilfe eines autonomen Lenkeingriffs (automatisches Gegenlenken). Dazu ist ein aktives Lenksystem notwendig, d.h. ein Lenksystem mit dem sich aktiv und unabhängig von der Fahrervorgabe ein zusätzlicher Lenkwinkel an den Rädern erzeugen läßt. Dies ist beispielsweise mit einer Überlagerungslenkung oder einem Steer-by-Wire Lenksystem möglich. Solche aktiven Lenksysteme können sowohl an der Vorderachse, als auch an der Hinterachse oder an allen Rädern des Fahrzeugs zum Einsatz kommen.

Die Bestimmung des, für das automatische Gegenlenken notwendigen, Radeinschlagwinkels erfolgt von einer Recheneinheit (Bild 3), welche den Radeinschlagwinkel aus zwei Anteilen (Störgrößenaufschaltung und überlagerte Fahrzustandregelung) zusammensetzt.

Der erste Anteil ergibt sich mit Hilfe einer Störgrößenaufschaltung bzw. Störgrößenkompensation des während der Bremsung durch die asymmetrischen Bremskräfte hervorgerufenen Störgiermoments. Dieses Störgiermoment wird zuerst aus den Bremsdruckinformationen der einzelnen Räder geschätzt (Gleichungen 1 und 2). Dazu wird ein elektronisches Bremssystem benötigt, welches entweder die Bremsdrücke an den einzelnen Rädern modellbasiert schätzt bzw. beobachtet, die Bremsdrücke an den einzelnen Rädern mit Hilfe von Drucksensoren mißt oder ein Brake-by-Wire System (EHB/EMB), welches auf diesen Größen basiert. Die Bestimmung des Störgiermoments beruht nach Gleichung 2 auf den Bremskräften an den Rädern. Die Bremskräfte können wie in Gleichung 1 aus den Bremsdruckinformationen berechnet werden oder es können auch Systeme zum Einsatz kommen, welche direkt die Bremskräfte messen (z.B. Seitenwandtorsionssensor, Radnaben, o.ä.). Aus dem geschätzten Störgiermoment wird abhängig von Fahrzustandsgrößen (z.B. Fahrzeuggeschwindigkeit, Bremsdruckdifferenz zwischen Hoch- und Niedrigreibwert, mittleres Bremsdruckniveau, u.s.w.) der zur Kompensation des Störgiermoments nötige Radeinschlagwinkel berechnet (Bild 4). Die Störgrößenaufschaltung agiert aus querdynamischer Sicht als reine Steuerung. Dies bewirkt, daß das Störgiermoment nicht in allen Fällen ideal kompensiert wird, da es sich mit anderen Störungen und Ungenauigkeiten überlagert, die nicht erfaßt werden (z.B. Ungenauigkeiten durch Veränderungen des Bremsscheibenreibwerts).

Daher wird der Störgrößenaufschaltung wie in Bild 3 dargestellt eine Fahrzustandsregelung überlagert. Diese Fahrzustandsregelung bestimmt abhängig von der Gierrate und optional zusätzlich auch von der Querbeschleunigung bzw. dem Schwimmwinkel des Fahrzeugs einen zusätzlichen Radeinschlagwinkel (Bild 5). Der Regler arbeitet adaptiv, d.h.

abhängig von beispielsweise der Fahrzeuggeschwindigkeit werden die Reglerverstärkungen der einzelnen zurückgeführten Fahrzustände angepaßt.

Diese beiden Lenkwinkel-Stellanforderungen (aus Störgrößenaufschaltung und überlagerter Fahrzustandsregelung) werden addiert und vom aktiven Lenksystem eingestellt. Die Bestimmung des zur Stabilisierung benötigten Radeinschlagwinkels und das Einstellen des Radeinschlagwinkels geschieht dabei viel schneller als ein Durchschnittsfahrer die entsprechende Situation erkennen und per Gegenlenken darauf reagieren kann. Diese schnelle Reaktion des Regelsystems und des aktiven Lenksystems ermöglichen es, das elektronische Bremsystem ABS derart anzupassen, daß an den einzelnen Rädern (besonders auf der Hochreibwertseite) das Reibwertpotential besser ausgenutzt werden kann. Hierzu werden die Regelstrategien des ABS auf inhomogenen Reibwerten modifiziert: Die Giermomentbegrenzung an der Vorderachse wird stark abgeschwächt, so daß sich an der Vorderachse schnell ein großer Druckunterschied zwischen dem Rad auf der Hoch- und dem der Niedrigreibwertseite aufbaut (hoher Druckaufbaugradient am Hochreibwertrad). Nahezu gleichzeitig zum Aufbau des Druckunterschieds entsteht ein Giermoments um die Fahrzeughochachse. Aufgrund der Schätzung des Störgiermoments aus der Bremsdruckinformation oder mit Hilfe von direkt die Reifenkräfte messenden Systemen wird vom Regelsystem sofort gegengelenkt, noch bevor der Fahrer die Situation am Gierverhalten des Fahrzeugs erkennen kann. Als zweite Maßnahme zur Erreichung einer besseren Bremsleistung wird auch das SelectLow modifiziert und zwar derart, daß auch an der Hinterachse eine Druckdifferenz zugelassen wird. Diese Druckdifferenz wird aber nicht zu jeder Zeit zugelassen, sondern abhängig vom Lenkwinkel, der Fahrzeuggeschwindigkeit und von Fahrzustandsgrößen begrenzt (Gleichung 3, Bild 6). Zeigt der Radeinschlagwinkel zur Niedrigreibwertseite und dreht sich das Fahrzeug in Richtung Niedrigreibwertseite, so wird eine Druckdifferenz an der Hinterachse zugelassen. Dadurch ergibt sich auf der Hochreibwertseite eine größere Bremskraft, das Störgiermoment vergrößert sich und gleichzeitig vermindert sich an diesem Rad das Seitenkraftpotential. Durch das größere Störgiermoment stoppt die Drehung in Richtung Niedrigreibwertseite und das Fahrzeug beginnt eine Drehung in Richtung Hochreibwertseite. Durch das Drehen in Richtung Hochreibwertseite verringert sich gleichzeitig wieder die zugelassene Druckdifferenz an der Hinterachse und somit die Bremskraft auf der Hochreibwertseite, was wiederum zu mehr Seitenkraftpotential am Hinterrad auf der Hochreibwertseite führt. Hierdurch und durch die überlagerten Lenkeingriffe des Regelsystems im Zusammenspiel mit dem aktiven Lenksystem wird das Fahrzeug stabilisiert. Der Fahrer kann aber trotzdem, je nach seinen Lenkvorgaben in Richtung Hoch- oder Niedrigreibwertseite fahren. Damit am Hinterrad auf der Hochreibwertseite nicht zu viel Seitenkraftpotential verloren gehen kann, wird die durch die fahrdynamische Aufweichung des SelectLow's zugelassene Druckdifferenz an der Hinterachse auf eine Maximaldruckdifferenz begrenzt.

Diese Modifikationen in der ABS-Regelstrategie (sowohl hoher Druckaufbaugradient bei der Giermomentbegrenzung an der Vorderachse, sowie das je nach Fahrzustand aufgeweichtes SelectLow an der Hinterachse) bewirken

eine wesentlich verbesserte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Reibwertpotentials. Hierdurch läßt sich eine signifikante Bremswegverkürzung erzielen.

Bei Ausfall des aktiven Lenksystems wird auf die herkömmliche ABS-Regelstrategie zurückgegriffen (Giermomentbegrenzung und SelectLow).

### **Vorteile der Erfindung**

- Durch das automatische Gegenlenken des Regelsystems wird der Fahrer entlastet, so daß er idealerweise keinerlei Korrekturen mehr vornehmen muß. Die Aufteilung in Störgrößenkompensation und überlagerte Fahrzustandsregelung bewirkt als entscheidenden Vorteil, daß mit Hilfe der Störgrößenaufschaltung sofort nach Auftreten der Störung darauf reagiert werden kann, und nicht erst, wenn das Fahrzeug droht instabil zu werden. Durch die überlagerte Fahrzustandsregelung wird das Gesamtverhalten des Fahrzeugs verbessert und Störungen, die von der reinen Steuerung (Störgrößenkompensation) nicht kompensiert werden können, werden hierdurch ausgeregelt.

Durch das im Vergleich zum Fahrer viel schnellere Erkennen der Situation und Gegenlenken durch das Regelsystem, kann vom elektronischen Bremssystem ABS das Reibwertpotential an den einzelnen Rädern wesentlich besser ausgenutzt werden. Hierzu werden die ABS-Strategien auf inhomogenen Fahrbahnen derart angepaßt, daß an der Vorderachse ein viel schnellerer Druckaufbau am Rad auf der Hochreibwertseite zugelassen wird und an der Hinterachse eine Druckdifferenz abhängig vom Radeinschlagwinkel, der Fahrgeschwindigkeit und den Fahrzustandsgrößen zugelassen wird (aufgeweichtes SelectLow). Durch das bessere Ausnutzen des Reibwertpotentials vor allem auf der Hochreibwertseite, ergeben sich wesentlich kürzere Bremswege.

Durch den Einsatz des Regelsystems in Kombination mit einem aktiven Lenksystem und den angepaßten ABS-Regelstrategien ist es möglich, den bei Bremsungen auf inhomogenen Reibwerten auftretenden Zielkonflikt zwischen Gegenlenkaufwand für den Fahrer und Bremswegverkürzung weitgehend aufzulösen. Es ergeben sich für den Fahrer deutliche Vorteile im Sicherheitsbereich (Bremswegverkürzung und Fahrzeugstabilität) sowie im Komfortbereich (Gegenlenkaufwand für Fahrer)

**Gleichungen:**

2. Schätzung der Bremskräfte aus den Bremsdrücken:

Bilanzgleichung eines Rads bei Vernachlässigung von Antriebsmoment und unter der Annahme, daß die Radaufstandskraft im Radaufstandspunkt angreift

Daraus ergibt sich mit dem Bremsmoment  $M_{br,i} = B^* p_i$  für die Schätzung der Umfangskraft  $\hat{F}_{x,i}$  aus Bremsdruck und Radbeschleunigung

Bei geringeren Genauigkeitsanforderungen kann der dynamische Anteil  $\frac{1}{r} J_{whi} \dot{\omega}_i$  vernachlässigt werden und stationär ergibt sich für die Bremskraft der Zusammenhang

2. Schätzung des Störgiermoments aus den Bremskräften

Das Störgiermoment ergibt sich mit dem Radeinschlagswinkel  $\delta$  und der Fahrzeuggeometrie nach Abbildung 8 zu

2. SelectLow:

An der Hinterachse wird abhängig vom fahrdynamischen Zustand eine Druckdifferenz zugelassen. Für die zugelassene Druckdifferenz an der Hinterachse gilt

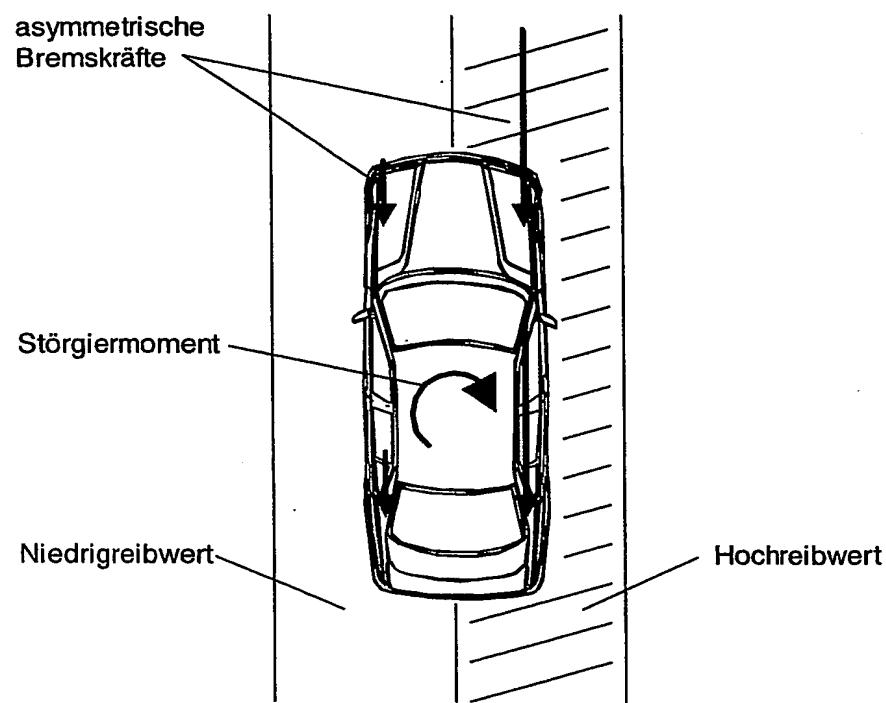


Bild 1: asymmetrische Bremskräfte und Störgiermoment

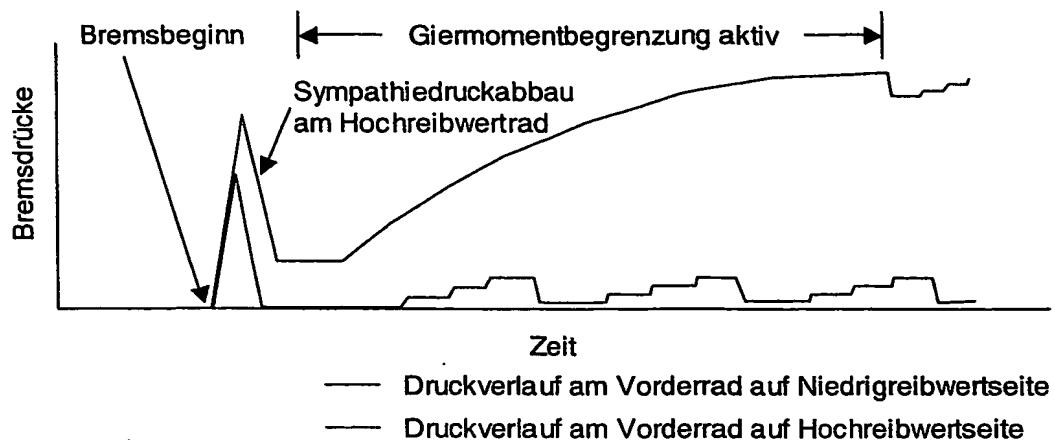


Bild 2a: Druckverlauf an Vorderachse bei aktiver Giermomentbegrenzung

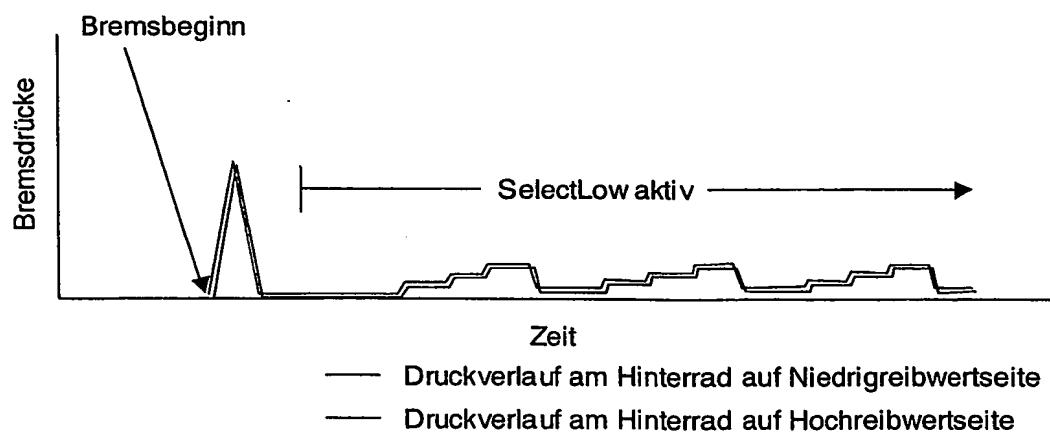


Bild 2b: Druckverlauf an Hinterachse bei aktivem SelectLow

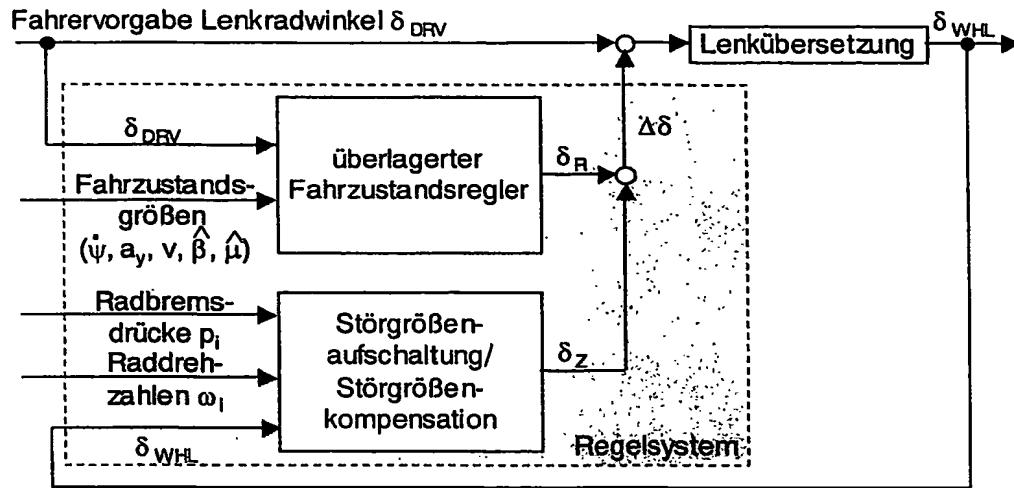


Bild 3: Blockschaltbild mit Darstellung des Regelsystems mit Störgrößen-aufschaltung und überlagerter Fahrzustandsregelung

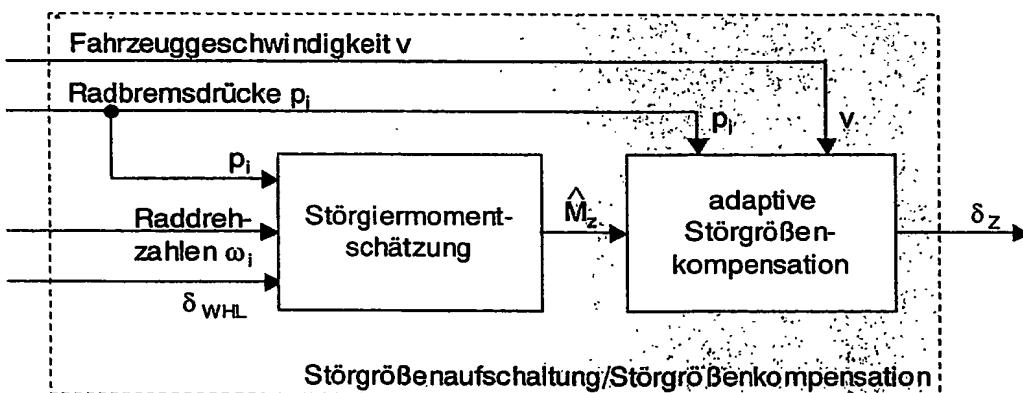


Bild 4: Störgrößen-aufschaltung mit Schätzung des Störgiermoments

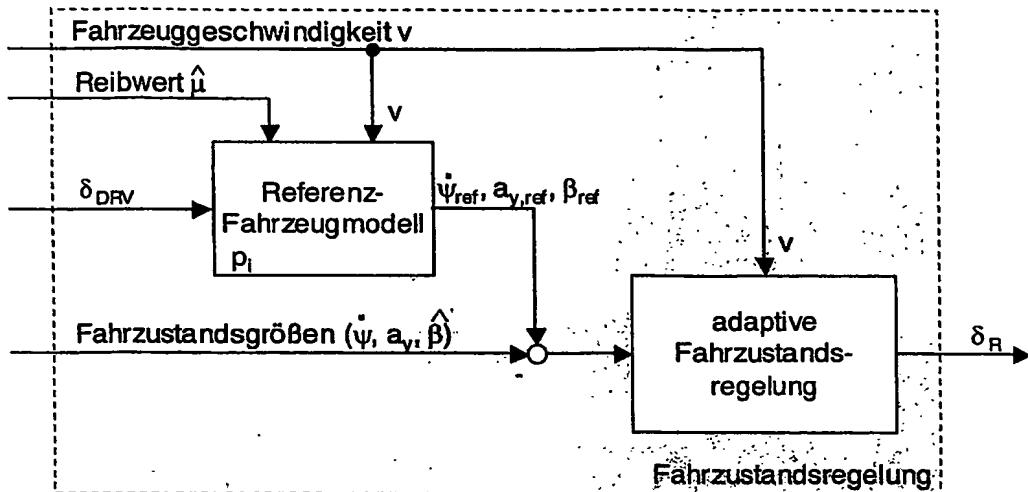


Bild 5: Überlagerte Fahrzustandsregelung

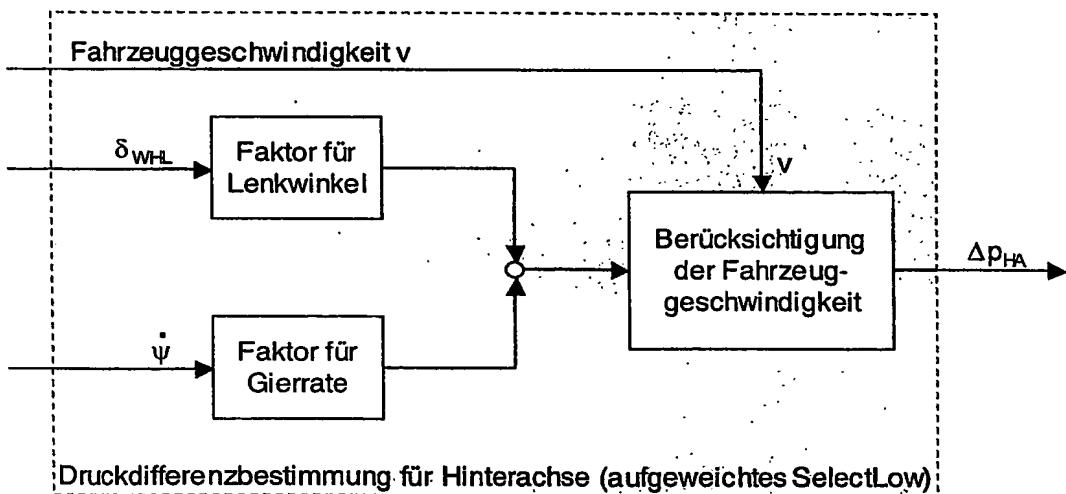
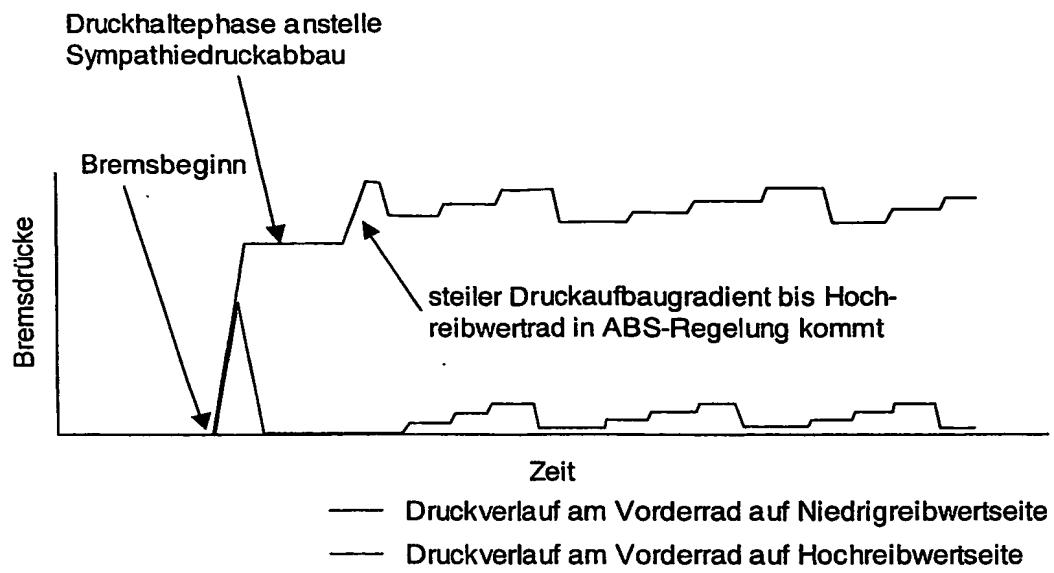
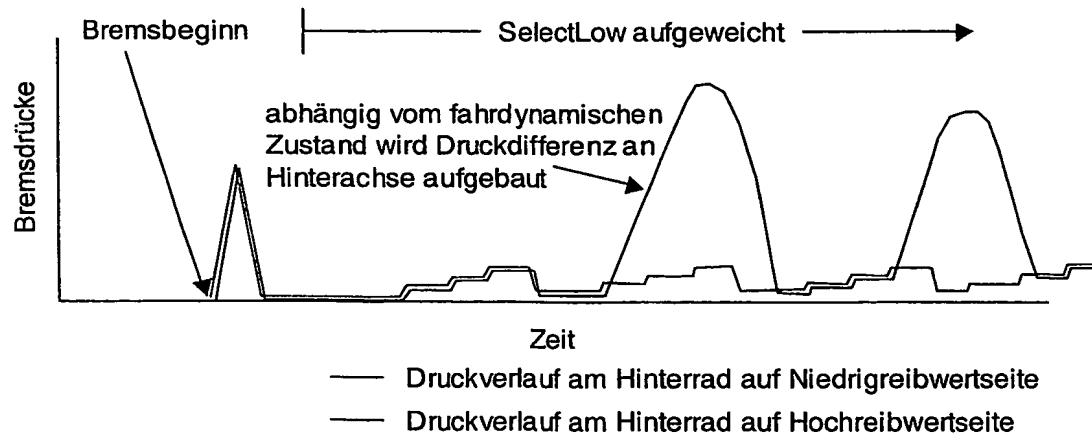


Bild 6: Bestimmung der Druckdifferenz an der Hinterachse aus dem fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs



**Bild 7a:** Druckverlauf an Vorderachse mit angepaßter Giermomentbegrenzung  
(ermöglicht aufgrund automatischen Gegenlenken des Regelsystems)



**Bild 7b:** Druckverlauf an Hinterachse aufgrund Aufweichung des SelectLows  
(ermöglicht durch automatisches Gegenlenken des Regelsystems)

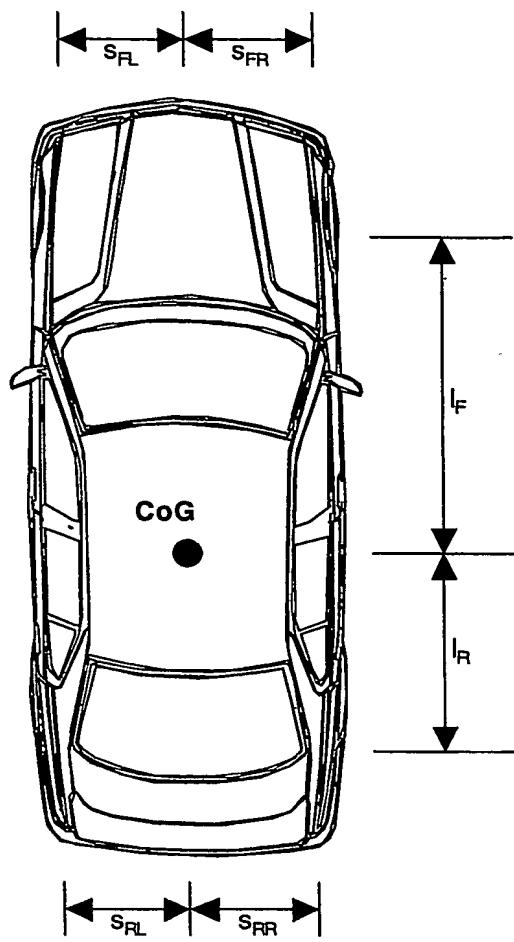


Bild 8: Fahrzeuggeometrie